

何洁琳,李妍君.城市气候变化风险研究新进展[J].气象研究与应用,2024,45(2):1-7.

HE Jielin, LI Yanjun. New progress in research on urban climate change risks[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(2): 1-7.

## 城市气候变化风险研究新进展

何洁琳, 李妍君

(广西壮族自治区气候中心, 南宁 530022)

**摘要:**城市是气候变化影响的关键脆弱区,是应对气候变化行动的实施主体,城市气候变化风险和应对策略研究有重要意义。本文综述气候变化风险定义、城市气候变化风险评估、气候风险管理和应对策略及未来研究方向的最新进展。城市化和城市气候变化相互影响,基于致灾危险性-暴露度-脆弱性三维迭加的风险评价是主要研究方向,适应型城市的气候管理需要切实提高应对极端天气气候事件的能力。当前为实现“双碳”目标,城市气候系统的减缓作用要加大,以城市温室气体排放监测和估算为基础的气候变化风险研究也将得到重视。城市气候变化风险研究未来将向多领域、多角度综合方向以及行业领域精细化、量化方向发展。

**关键词:**气候变化;气候风险;城市

**中图分类号:** P467

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.2.01

气候变化给人类社会带来巨大的影响和挑战,鉴于联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的长期不懈努力,全球大部分国家已达成减排降碳共识,协力控制平均气温升幅2050年前在1.5℃以内,到本世纪末在2℃以内;确立了提高适应能力、增强韧性和降低脆弱性的适应气候变化目标<sup>[1-3]</sup>。城市是人类生产生活高度集中产物,是人群和社会经济财富的集中地,因此城市既是气候变化的影响主体,也是实施应对行动的主体<sup>[3-4]</sup>。开展城市气候变化风险评估和应对策略研究,可为城市防范气候变化风险和开展应对行动提供科学依据,并对城市安全运行和可持续发展有重要意义<sup>[1-5]</sup>。本文主要对近20 a来关于城市气候变化风险和风险管理研究,尤其是适应型城市研究的新进展进行综述,希望对城市应对气候变化研究有启发。

### 1 气候变化风险定义

根据国际标准组织和国际学者的定义,风险是指一个或多个不利事件发生的可能性及其后果的

组合<sup>[5-6]</sup>。气候风险是指气候条件对人类社会产生不利后果的可能性,气候风险由气候条件的危险性、承灾体的暴露度和脆弱性三个因素综合构成<sup>[3,7]</sup>。气候变化风险则是由于气候变化影响给人类社会或资源环境带来的可能损失<sup>[8-9]</sup>,同样由三个指标构成,即气候变化危险性,系统暴露度和系统的敏感性。由于气候变化的不确定性和长期性,气候变化风险的不确定性更高;气候风险也包含气候变化风险,在对长时间尺度的预估分析上等同于气候变化风险。

吴绍洪等<sup>[8]</sup>提出的气候变化风险定义:由于气候变化影响超过某一阈值所引起的社会经济或资源环境的可能损失。可由公式(1)表达。

$$R=f(S,E,P) \quad (1)$$

式中 $R$ 为研究对象的气候变化风险, $S$ 为研究对象响应气候变化的敏感性, $E$ 为研究对象的暴露度, $P$ 为气候变化不利事件的可能发生概率。

文献<sup>[8]</sup>认为,敏感性是指研究对象对气候变化的响应程度或敏感程度,这种响应可能是有害

收稿日期: 2024-04-05

基金项目: 广西重点研发项目(桂科AB23026052,桂科AB24010151)、广西气象科研计划青年人才培养项目(桂气科2023QN03)

第一作者: 何洁琳(1972-),博士,正高级工程师,主要研究方向:气候及气候变化影响评估。E-mail: hjlchinese@163.com

的,也有可能是有利的。在风险研究中,主要关注有害响应。一般地,敏感性越高,则系统越容易受到气候变化的不利影响,其风险可能越大。系统对气候变化不利事件的敏感性,也可以称之为脆弱性。暴露度是指研究对象暴露于气候变化影响的程度。暴露程度越高,则其受到气候变化不利影响的风险越大。可能性是指气候变化不利事件发生的概率,即危险性。危险性评估是气候变化风险的重要内容之一,其主要来源于气候变化的不确定性,包括不同排放情景、不同气候模式等<sup>[8]</sup>。该理论公式被广泛沿用,组合的函数根据不同研究对象和不同研究方法进行调整。

风险评估与风险管理是气候变化风险研究两个关键环节<sup>[9]</sup>。风险评估是风险管理的基础,是评估未来气候变化可能产生不利影响的程度及其可能性的大小<sup>[9]</sup>。风险管理是风险评估的最终目标,是通过各种途径或技术手段,最大程度降低气候变化可能导致的损失<sup>[9]</sup>。最新的IPCC第六次气候变化评估报告<sup>[10]</sup>指出,气候变化风险是气候致灾性、人类和生态系统的暴露度和脆弱性的综合迭加结果。气候变化的致灾危险性迭加到暴露在危险下的人类社会、生态系统,不同承受能力即不同脆弱性的系统,产生不同的影响。因此应根据不同承灾体的影响情况以及未来不同情景下的气候变化风险,从政府到团体、公众,在投资、知识和能力等技术手段、政策、基础设施建设方面采取相应合适的适应、减缓气候变化行为。

## 2 城市气候变化风险的研究

城市化与气候变化是未来人类社会面临的两大挑战<sup>[11]</sup>。城市本身的属性造成它是受气候变化影响的脆弱关键区。城市具有人口、基础设施、经济发展密集的特征,是人类社会经济活动及生存最重要的载体或产物。20世纪80年代到21世纪,全球城市都在快速扩张<sup>[12]</sup>同时,城市也是二氧化碳排放的主要地区,全球范围内约80%的二氧化碳排放量来自城市地区<sup>[13]</sup>。为实现碳达峰、碳中和的目标,城市处于先导地位<sup>[4]</sup>。目前全球许多国家仍在城市化发展的进程中,人口高度密集、自然资源匮乏、生态环境脆弱的城市高度化地区成为受气候变化不利影响的脆弱区,存在适应气候变化的现实和潜在的风险<sup>[3,14,15]</sup>。因此,未来人类社会的两大挑战的关键区都集中在城市区域,城市在发展建设中要同

时兼顾适应和减缓气候变化政策实施,从而提出气候变化对城市影响的评估研究及如何应对的需求。

### 2.1 城市气候变化危险性影响的研究

城市与气候变化间关系紧密,一方面城市化导致城市气候状况发生变化,也是全球发生气候变化的主要原因之一,另一方面气候变化严重影响城市的发展,这种影响以不利影响为主。过去40多年,中国处于城市快速发展的进程,城市化导致当地气候发生明显变化。城市的热岛、干岛、湿岛气候效应显著<sup>[16-19]</sup>。在20世纪末到21世纪初,利用温度、降水、水汽压、相对湿度、日照等气象要素指标,采用城郊对比法等分析方法研究表明,西宁、兰州、营口、鞍山等北方城市已出现了明显的增温和热岛、干岛效应,且人口增长与工业化发展对城市气候影响明显<sup>[17,19-22]</sup>。城市的强降水事件也在增多<sup>[23-24]</sup>,城市热浪事件更严重、更频繁<sup>[25]</sup>。2012年北京“7·21”特大暴雨事件引起城市面对极端气象灾害的关注,2021年7月20日郑州日降水量达552.5 mm,1 h最大雨强201.9 mm的极端强降水事件给城市建设和管理再次敲响了警钟。2022年中国出现1961年来最强高温、长江流域在汛期出现夏旱、北半球许多国家也遭遇高温干旱、超强气旋、超级寒潮,反映了气候变化导致的全球极端天气气候事件频率和强度都在加大<sup>[7,10]</sup>的事实已经越来越显著。极端气候事件加剧城市生活环境的气候变化风险。

IPCC第五次、第六次科学评估报告都明确指出,城市化与气候变化间有着密切联系,未来随着城镇化的发展,人口进一步增加,未来城镇所面临的气候变化风险可能会更为严峻<sup>[14,15]</sup>。城市化使城市本身气候发生改变,其导致的地表下垫面改变及其工业活动产生的温室气体排放是导致全球气候变化的主要原因,而全球气候变化的影响以气温升高、极端气候事件频率加大的形式对城市产生极大的影响,也带来巨大的气候风险<sup>[7,10]</sup>。

### 2.2 城市行业和领域的气候风险管理研究

开展气候风险评估、气候风险管理和应对气候风险也是气候变化应对战略的重要组成部分。气候变化风险的研究领域从气象到各行各业延伸,从密切相关的林业、农业生态环境、水文水资源到能源、交通、人体健康、城市建设、旅游、金融等<sup>[3,9,14,26-30]</sup>均有涉及,逐渐成为一个综合的跨行业的研究领域。正因为城市中同样存在着众多的行业及领域,所以城市气候变化风险管理的研究也应涉及行业及领域。

城市气候变化风险的研究同样基于气候危险性、暴露度、脆弱性(或适应性)三个综合因素的定性或定量分析进行。国外和国内的部分文献主要侧重于弹性力或恢复力、韧性的研究,通过建立基于城市统计数据的脆弱性评估指标,以及在城市规模基础上主要考虑暴露度,敏感度和适应能力三个指标组成的风险评估体系或基于暴露度-敏感度-恢复力的城市适应气候变化评价指标体系,对城市当前及未来不同情景开展气候风险评估,指出城市面临的气候风险及适应能力或限制发展的因素,评

估结果为城市适应气候变化,应对气候风险提供决策参考<sup>[31-37]</sup>。宋蕾以上海为例,指出城市人口密集区的气候风险评价因子(表1)<sup>[31]</sup>,从四个维度开展评价,其中直接气候风险即气候危险性因子,包括海平面上升、暴雨、台风、高温热浪等自然灾害,间接气候风险即承灾体及其暴露度,包括城市、交通基础设施、环境、农林渔业、人体健康、建筑物等,在一定的气候危险性影响下,这些承灾体的气候风险随着城市生态环境、经济活动、人口增长即脆弱性(适应性)的变化而变化。

表1 气候风险的驱动因素评价表<sup>[31]</sup>

	项目	气候因素	资源环境	城市化	经济活动	人口增长
直接 气候 风险	海平面上升	√				
	暴雨	√				
	台风	√				
	高温热浪	√	√	√		√
间接 气候 风险	城市内涝	√	√	√		
	交通等基础设施供给紧张	√	√	√	√	√
	环境污染	√	√	√	√	√
	农、林、渔业等经济受损	√	√		√	
	人体健康	√	√	√		√
	建筑物坍塌等次生灾害	√	√	√	√	√

城市气候承载力也是其中的一个研究方向。气候承载力指在一定的时间和空间范围内,气候资源对社会经济某一领域(如农业、水资源、生态系统、人口、社会经济规模……)乃至整个区域社会经济可持续发展的支撑能力<sup>[38]</sup>。气候承载力强调社会经济活动不能超过气候资源承载的能力,且社会经济系统与气候系统之间存在相互反馈关系<sup>[38-43]</sup>。闫胜军等<sup>[39]</sup>通过构建一个包括3个准则层(气候天然容量、城市气候压力、城市协调发展能力)及下属的24个指标的气候承载力指标体系来定量评价2004—2013年上海的气候承载力;该指标体系进一步被改进用于评估广西北部湾城市群和山地城市百色的气候承载力,得到不同城市对气候变化的响应及应对风险的能力评估<sup>[40-42]</sup>。卢燕宇等<sup>[43]</sup>对皖江城市带进行研究,引用封志明<sup>[44]</sup>的人口分布适宜度评价框架,并选取气候资源供给度、气候灾害限制度、新型城镇化发展协调度作为气候承载力的指标,使用综合聚集度来讨论气候承载力与社会经济聚集水平的关系。岳溪柳等<sup>[45]</sup>以北京市

为研究对象,选取气候资源、人类活动和生态环境3个要素和14个具体指标作为评价指标体系,采用层次分析法构建判断矩阵,矩阵通过检验即获得各项指标的权重,后再通过构造函数来计算气候承载力。国外有Tapia等学者<sup>[33]</sup>建立基于城市统计数据的脆弱性评估指标,对欧洲571个城市进行面临高温热浪、干旱和洪水等气候变化时的城市脆弱性评估,试图揭示欧洲城市特定群体面临气候变化的主要挑战,以便制定有效的适应政策以应对气候变化的预期影响。

这些气候变化风险评估和风险管理的研 究主要从构建评价指标体系方面开展定量化研究,但仍以定性评估为主。在不同的行业中应用行业的承灾体暴露度数据进行脆弱性分析,大致得到该行业的主要气候变化风险及气候治理的策略。

2.3 城市适应气候变化策略研究

面对气候变化影响和气候风险,城市适应气候变化策略早在21世纪初已得到世界各国包括中国的关注,纷纷制定城市应对气候变化计划、行动方



案、城市绿色低碳发展计划等,根据高温、干旱、洪涝、海平面上升等不同的灾害影响,编制适应和应对方案,致力在气候治理、城市建设方面提高城市的适应能力<sup>[27,46-48]</sup>。我国的城市适应气候变化策略在2010年后也快步进入实践和试点阶段,2015年全国有30个城市启动海绵城市试点建设,2017年开始28个城市的气候适应型城市试点建设,要求在城市建设和管理中充分考虑气候变化因素,采取趋利避害措施,实现城市的安全运行和可持续发展<sup>[15,49]</sup>。付琳等<sup>[50]</sup>对我国气候适应型城市建设试点的进展进行总结分析,指出试点城市都强化适应气候变化理念,提升气候变化监测水平,因地制宜开展适应变化行动,同时推动体制机制的创新,但也还存在着一些问题,如由于适应气候变化是新的理念,仍有待强化;适应气候变化基础能力不足,普遍面临理论研究不足、技术和数据储备不足、研究能力不足等问题。因此,城市适应气候变化的基础研究仍有待加强。

城市群是在一个国家在现代社会发展过程中随着人口、工业、商业经济的发展逐渐出现的产物,是过渡到大都市带的早期城市发展雏形<sup>[51]</sup>。我国已形成珠三角、长三角和环渤海湾三大城市群,及一些省首府城市为中心的中小城市带,城市群是带动我国经济社会发展的重要发展形式,具有区域气候和地理环境相似、人口流动和经济合作往来密切的特点。因此,在气候变化影响和适应气候变化评价研究中,城市群往往也作为一个整体来进行评价和研究<sup>[31,37,52-54]</sup>。每个城市群的地理气候背景、城市经济发展特点、基础设施环境各不相同,也面临着不同的气候变化风险,应采取不同的应对措施。如长三角城市群在面对气候风险时不同城市单元个体的基础设施建设规划的策略体系应融入区域一体化政策中,以降低其脆弱性<sup>[37]</sup>;粤港澳大湾区城市群面对台风的气候风险需要从城市结构的不同层面提高气候韧性<sup>[53]</sup>;广西北部湾沿海城市群在未来的城市发展规划中,应通过走低能耗绿色发展道路,同时提高科技环保和防灾减灾能力以提升气候承载力<sup>[40]</sup>。

中国城市适应气候变化的研究主要有两个方向:一是采用评价指标体系对城市进行气候变化适应性评价,二是开展城市适应气候变化对策与政策研究;而在城市适应性评价研究中,又分为依据灾害类别单独进行的评价和综合气候风险评价两种。

如彭雄亮<sup>[53]</sup>等开展的粤港澳大湾区城市群适应台风气候的韧性空间策略研究,主要针对台风给大湾区城市群带来的不同等级风险,提出应从区域/城市群、城市和城镇/社区三个层面构建湾区韧性体系,同时建立城市群协同治理机制,围绕台风的季节性特征制定周期性强韧方案,从而有效提升城市群应对台风灾害适应能力和恢复能力的建议。裴孝东等<sup>[49]</sup>从高温、低温、干旱以及洪水四类气候变化事件影响入手,通过构建涵盖自然、经济、社会等多维度要素的城市气候变化适应性综合评价体系,对中国二百多个城市的气候变化适应性展开多角度分析,指出不同灾害对不同城市造成的气候风险不同,总体适应性较低,气候风险压力较大的结论。

综合指标体系评价法仍是目前城市适应性评价的主要方法,且有利于在适应决策过程中发挥气候变化风险评估、确立适应目标和行动、适应效果评估等作用<sup>[36,40-42,55]</sup>。在城市适应性研究中,未来情景的预测和模型建立也是重要的研究环节。叶祖达<sup>[56]</sup>通过收集城市气候变化数据,预测未来气候变化对城市尺度空间建设不同情景,从而建立城市气候变化风险管理与评估工具;共享社会经济路径(SSPs)是IPCC提出的未来社会经济变化的共同框架,可用来进行我国社会经济发展路径的研究,对城市未来社会经济情景进行假设模拟<sup>[57]</sup>。高分辨率区域气候模式(RCM)及其耦合模式的动力降尺度方法为研究未来气候变化和城市化气候变化特征提供科学工具<sup>[11,48]</sup>。而一些相关的城市适应力研究,则涉及如低碳空间评价、土地生态承载力等方面<sup>[58-59]</sup>,讨论如何发挥一体化区域效应,资源优化,促进生态和经济可持续发展。

### 3 城市气候变化风险研究未来发展方向

2021年来,根据IPCC第六次气候变化评估报告的不同温室气体排放情景假设下全球平均温升1.5℃、2.0℃的时间节点的科学参考,以及《巴黎协定》对实现“碳中和碳达峰”目标各国的承诺,减缓和应对行动紧迫性越来越强,应对气候变化行动不仅包括适应行动,还将重点放到减缓行动,即碳排放上。IPCC第六次评估报告第三工作组报告(WGIII)第八章“城市系统和其他居住区”针对城市系统如何减缓气候变化,围绕城市减缓策略下的协同与权衡、城市系统和温室气体排放、治理制度和财政、不同类型城市的综合减缓路线等方面进行系

统性的全面评估<sup>[60]</sup>。城市碳核算至关重要,要减少城市向大气中的碳排放,并加强城市的碳吸收。因此,以城市温室气体排放监测和估算为基础的气候变化风险研究也将得到重视。对于城市和城市群而言,作为能源应用和碳排放的重点地区,适应和减缓行动都应放在气候治理的同等重要的地位,互相支持。

基于暴露度-敏感度-恢复力的城市适应气候变化能力评估仍是适应型城市气候变化风险研究的主要思路<sup>[36,54]</sup>,并针对城市定位可进行侧重于不同行业领域的或者承灾体暴露度或脆弱性研究,如施建刚和俞晓莹<sup>[37]</sup>对气候变化下长三角城市群基础设施脆弱性评估及空间分析,将脆弱性三要素理论与空间分析方法相结合,构建出气候变化下城市基础设施脆弱性的空间分析框架,并以长三角城市群各地级市为对象进行实证分析。郑艳等<sup>[15]</sup>从提升人居环境系统的气候适应性入手,提出人居环境系统是由人类居住区及其周边环境组成的“社会—生态复合系统”,将适应气候变化理念引入人居环境科学,分析气候变化给人居环境系统带来的新风险,如复合型风险、关键风险、突现风险、系统性风险等;将人居环境系统区分为:建筑基础设施、生命线基础设施、生态基础设施、社会基础设施四个子系统,分别论述各子系统提升气候适应性的具体途径,最后基于系统治理理念提出人居环境的协同适应策略。朱守先<sup>[61]</sup>以新建城市雄安新区为例,提出雄安作为具有绿色低碳发展为设计理念的生态未来城市,能源生态系统设计要适应干旱、洪涝、高温热浪和低温冷害等极端气候事件带来的风险。总体而言,中国气候适应型试点城市对极端气候事件适应性较低,气候风险压力较大,城市在建设规划和行业发展中要充分考虑应对和适应极端气候风险。

## 4 小结

综上,我国开展城市气候变化风险研究的主要进展包括:

(1)从定义上,城市气候变化风险是由气候变化造成的致灾危险性、城市功能中的承灾体的暴露度和脆弱性三个因素迭加综合构成的,对城市可持续发展产生不利影响的可能结果。城市气候变化风险的研究包括城市气候变化危险性、城市适应气候变化的气候管理及城市应对气候变化策略的研究。

(2)城市气候致灾危险性评估可依据灾害类别

单独或综合灾种来进行,利用多要素气候资料的研究表明,过去40多年,在气候变化背景及城市快速发展的双重影响下,中国城市及城市群的热、干、湿岛气候效应显著,极端天气气候事件频发、强度加强,城市面临的气候变化致灾危险性加大。

(3)城市气候变化风险管理的研究涉及多行业多领域,构建综合评价指标体系开展定量化风险评估研究,或针对行业、领域中特定的承灾体暴露度和脆弱性开展定量或定性分析,都可获得构成城市气候变化风险的指向承灾体的主要致灾性、脆弱性所在,为城市制定气候管理和应对策略提供目标和行动、效果评估等指南。在IPCC提供的共享社会经济路径,利用高分辨率区域气候模式及其耦合模式的动力降尺度方法,可对城市未来气候变化情景进行假设,从而为讨论和制定应对策略提供更有效科学支撑。

未来,在适应极端事件频发导致的气候致灾危险性加剧的迫切需求下,以及全球“双碳”目标应对气候变化行动的要求下,城市气候变化风险研究方向将仍以致灾危险性-暴露度-脆弱性三维度的综合评估为基础研究基础,而以城市温室气体排放监测和估算为基础的风险研究、碳估算评价、减缓和低碳研究也将得到加强,城市气候变化风险研究将以不同温室气体排放情景的共享社会经济路径为假设,向多领域多角度综合方向探索,同时在某一行业或领域将向精细化和定量化方向开展。

## 参考文献:

- [1] 巢清尘.“碳达峰和碳中和”的科学内涵及我国的政策措施[J].环境与可持续发展,2021,46(2):14-19.
- [2] 巢清尘.全球气候治理的学理依据与中国面临的挑战和机遇[J].阅江学刊,2020,12(1):33-43,120-121.
- [3] IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability[M]. Cambridge:Cambridge University Press, 2014.
- [4] 庄贵阳,魏鸣昕.城市引领碳达峰、碳中和的理论和路径[J].中国人口·资源与环境,2021,31(9):114-121.
- [5] 刘燕华,葛全胜,吴文祥,等.风险管理——新世纪的挑战[M].北京:气象出版社,2005:1430.
- [6] ISO. ISO guide 73:2009[S]. Geneva:International Standards Organization, 2009.
- [7] 郑国光,矫梅燕,丁一汇,等.中国气候[M].北京:气象出版社,2019:1-36.
- [8] 吴绍洪,潘韬,贺山峰.气候变化风险研究的初步探讨[J].气候变化研究进展,2011,7(5):363-368.

- [9] 吴绍洪,潘韬,刘燕华,等.中国综合气候变化风险区划[J].地理学报,2017,72(1):3-17.
- [10] IPCC. Climate change 2022: Summary for policymakers [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- [11] 苗世光,蒋维楣,梁萍,等.城市气象研究进展[J].气象学报,2020,78(3):477-499.
- [12] LIU X P, HUANG Y H, XU X C, et al. High-spatiotemporal-resolution mapping of global urban change from 1985 to 2015[J/OL]. Nature Sustainability [2020-5-4].
- [13] Urban Development & Local Government. Cities and climate change: an urgent agenda[R]. Washington DC: The World Bank, 2010.
- [14] 翟盘茂,袁宇峰,余荣,等.气候变化和城市可持续发展[J].科学通报,2019,64(19):1995-2001.
- [15] 郑艳,李惠民,李迅.提升人居环境系统的气候适应性:适应途径与协同策略[J].环境保护,2020,48(13):9-16.
- [16] 史军,梁萍,万齐林,等.城市气候效应研究进展[J].热带气象学报,2011,27(6):942-951.
- [17] 赵晶,王乃昂.近50年来兰州城市气候变化的R/S分析[J].干旱区地理,2002,25(1):90-95.
- [18] 严中伟,王君,李珍,等.基于均一化观测序列评估城市化的气候效应[J].气象科技进展,2014,4(3):41-48.
- [19] 吴婕,徐影,师宇.华南地区城市化对区域气候变化的影响[J].气候与环境研究,2015,20(6):654-662.
- [20] 刘蓓.西宁城市气候变化及其影响[J].青海气象,1995(2):40-44.
- [21] 李卓仑,王乃昂,轧靖,等.近40年兰州城市气候季节性变化与城市发展[J].高原气象,2007,26(3):586-592.
- [22] 金巍,曲岩,徐景文,等.营口和鞍山城市气候变化对比分析及原因探讨[J].气象与环境学报,2008,24(1):44-47.
- [23] 周建康,黄红虎,唐忆忆,等.城市化对南京市区域降水量变化的影响[J].长江科学院院报,2003,20(4):44-46.
- [24] 廖镜彪,王雪梅,李玉欣,等.城市化对广州降水的影响分析[J].气象科学,2011,31(4):384-390.
- [25] 杨续超,陈葆德,胡可嘉.城市化对极端高温事件影响研究进展[J].地理科学进展,2015,34(10):1219-1228.
- [26] 向柳,张玉虎,郭晓雁.四川省气候变化风险及适应对策研究[J].绿色科技,2019(4):10-14.
- [27] 刘长松.城市安全、气候风险与气候适应型城市建设[J].重庆理工大学学报(社会科学),2019(8):21-28.
- [28] 毕鹏,施小明,刘起勇.过去十年中国气候变化与人群健康研究进展及未来展望[J].气候变化研究进展,2020,16(6):763-769.
- [29] 薛进军.关于气候风险、环境危机与能源安全的思考[J].环境保护,2021,49(8):9-14.
- [30] 李研妮,韩静,黄龙.环境气候风险评估方法的研究综述[J].当代金融研究,2022(9):83-92.
- [31] 宋蕾.都市密集区的气候风险与适应性建设——以上海为例[J].中国人口·资源与环境,2012(11):6-12.
- [32] PARVEEN K, DAVIDE G, HARINI N. Spatial assessment of climate change vulnerability at city scale: A study in Bangalore, India [J]. Land Use Policy, 2016(58):514-532.
- [33] TAPIA C, ABAJO B, FELIU E, et al. Profiling urban vulnerabilities to climate change: An indicator-based vulnerability assessment for European cities [J]. Ecological Indicators, 2017(78):142-155.
- [34] CHU A, LIN Y C, CHIUEH P T. Incorporating the effect of urbanization in measuring climate adaptive capacity [J]. Land Use Policy, 2017(68):28-38.
- [35] 吴蔚,田展,胡恒智,等.上海城市适应气候变化关键技术研究进展[J].气象科技进展,2017,7(6):126-133.
- [36] 赵春黎,严岩,陆咏晴,等.基于暴露度-恢复力-敏感度的城市适应气候变化能力评估与特征分析[J].生态学报,2018,38(9):3238-3247.
- [37] 施建刚,俞晓莹.气候变化下长三角城市群基础设施脆弱性评估及空间分析[J].同济大学学报:自然科学版,2020,48(12):1836-1844.
- [38] 於琰,卢燕宇,黄玮,等.气候承载力评估的意义及基本方法[M].//王伟光,郑国光.气候变化绿皮书——应对气候变化报告.北京:社会科学文献出版社,2015(11):268-280.
- [39] 闫胜军,何霄嘉,王烜,等.城市气候承载力量化评价方法初探[J].气候变化研究进展,2016,12(6):476-483.
- [40] 吴筱雯,何洁琳,李妍君,等.广西北部湾沿海城市群气候承载力评价[J].气候变化研究进展,2023,19(4):446-456.
- [41] 李妍君,何洁琳,秦川,等.2000—2017年山地城市百色气候承载力定量评价[J].气象与环境学报,2021,37(5):100-106.
- [42] 李妍君,何洁琳,秦川,等.气候变暖背景下南宁市气候承载力定量评价[J].气象研究与应用,2022,43(2):52-57.
- [43] 卢燕宇,田红,孙维,等.面向新型城镇化的气候承载力指标研究——以皖江城市带为例[J].气候变化研究进展,2017,13(6):534-544.
- [44] 封志明,杨艳昭,游珍,等.基于分县尺度的中国人口分布适宜度研究[J].地理学报,2014,69(6):723-737.
- [45] 岳溪柳,於琰,黄玫,等.人类活动影响下的北京地区气候承载力初步评估[J].气候变化研究进展,2017,13(6):517-525.
- [46] 张媛媛,刘江,高莉洁,等.中国沿海城市应对气候风险发展策略概述[J].城市建筑,2017(21):6-9.
- [47] 刘苏潇,孙兰东,吴蔚,等.城市适应气候变化行动方案



- 案——国内外应对气象灾害的典型案例[J]. 气象科技进展, 2020, 10(6):118-124.
- [48] 鲍文. 基于恢复力的气候变化适应型城市发展研究[J]. 中国名城, 2020(7):25-31.
- [49] 裴孝东, 吴静, 薛俊波, 等. 中国城市气候变化适应性评价[J]. 城市发展研究, 2022, 29(3):39-46.
- [50] 付琳, 曹颖, 杨秀. 国家气候适应型城市建设试点的进展分析与政策建议[J]. 气候变化研究进展, 2020, 16(6): 770-774.
- [51] 汪文革. 中国城市群研究概念辨析[J]. 中国名城, 2018(12):16-21.
- [52] 郑祚芳, 苗世光, 范水勇, 等. 京津冀城市群未来发展情景气候效应模拟[J]. 南京大学学报:自然科学版, 2014, 50(6):772-780.
- [53] 彭雄亮, 姜洪庆, 黄铎, 等. 粤港澳大湾区城市群适应台风气候的韧性空间策略[J]. 城市发展研究, 2019, 26(4):55-60.
- [54] 刘志澄. 气候变化与武汉城市圈可持续发展[J]. 湖北气象, 2005(3):3-6.
- [55] 杨秀, 付琳, 张东雨. 适应气候变化评价指标体系构建与应用[J]. 阅江学刊, 2020, 12(2):83-98.
- [56] 叶祖达. 城市建设适应气候变化:情景预测、风险评估、行动方案[J]. 建设科技, 2020(17):12-17.
- [57] 潘金玉, 苏布达, 王艳君, 等, 姜彤. 共享社会经济路径(SSPs)下 2020-2050 年中国分产业产值时空变化[J]. 气候变化研究进展, 2020(6):725-737.
- [58] 廖志高, 许明辉. 广西北部湾城市群生态承载力研究[J]. 地域研究与开发, 2013, 32(5):99-104.
- [59] 覃盟琳, 黎小元, 袁倩文, 等. 北部湾城市群(广西) 低碳空间结构评价与优化策略[J]. 规划师, 2019(13):82-86.
- [60] 米志付, 张浩然. IPCC AR6 WGIII 报告解读:城市系统减缓气候变化[J]. 气候变化研究进展, 2023, 19(2):139-150.
- [61] 朱守先. 基于极端气候事件能源生态系统的调适与优化——以雄安新区为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(6):64-72.

## New progress in research on urban climate change risks

HE Jielin, LI Yanjun

(Guangxi Climate Center, Nanning 530022, China)

**Abstract:** Cities are key vulnerable areas for the impacts of climate change and are the main implementers of actions to address climate change. Research on urban climate change risks and coping strategies is of great significance. Recent advances in climate change risk definition, urban climate change hazard evaluation, climate risk management response strategies and future research directions are summarised. Urbanisation and urban climate change interact with each other. Risk assessment based on the three-dimensional iteration of hazard-exposure-vulnerability is the main research direction. Climate management in adaptive cities needs to effectively improve the ability to respond to extreme weather and climate events. Currently, the mitigation role of the urban climate system is to be increased in order to achieve the “dual-carbon” goal, and climate change risk studies based on monitoring and estimation of urban greenhouse gas emissions will also be emphasised. In the future, urban climate change risk research will move in the direction of multi-disciplinary and multi-perspective synthesis, as well as the refinement and quantification of industry sectors.

**Key words:** climate change; climate risk; cities